

エネルギーと地球温暖化問題



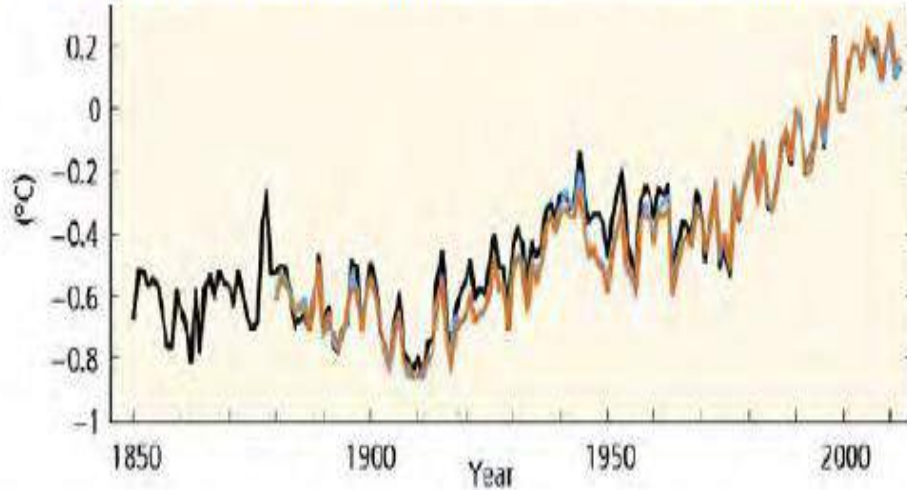
2019年5月13日
東京大学公共政策大学院教授
有馬 純

地球温暖化をめぐる国際動向



気候システムにおいて観測された変化

(a) 全球地表平均気温の推移 (1880年～2012年の間に0.85°Cの上昇)



【気候システムの温暖化】

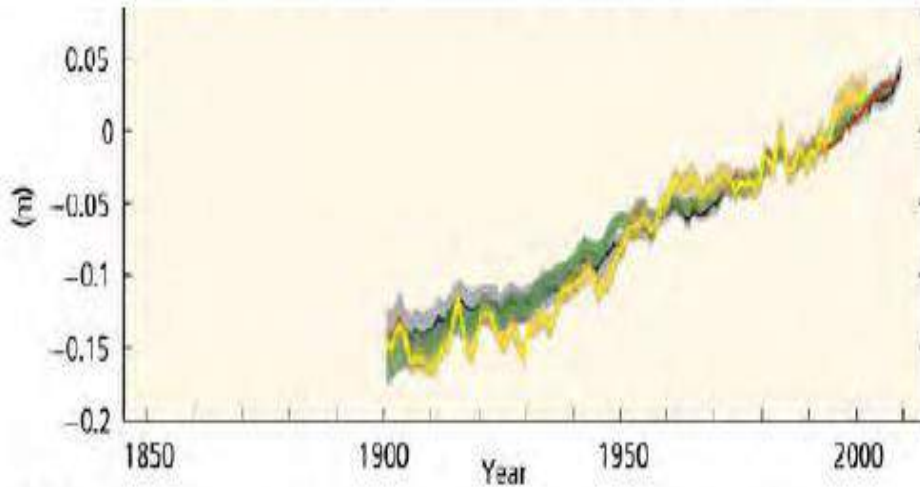
○IPCC第5次評価報告書統合報告書によると、気候システムの温暖化には疑う余地がない。大気と海洋は温暖化し、雪氷の量は減少し、海面水位は上昇している。

【人為起源による温室効果ガスとの因果関係】

○人為起源の温室効果ガスの排出が、20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった「可能性が極めて高い」(95%以上の確率)※。

※第三次報告書(2001年) → 第四次報告書(2007年) → 第五次報告書(2014年)
「可能性が高い」(66%～) 「可能性が非常に高い」(90%以上) 「可能性が極めて高い」(95%以上)

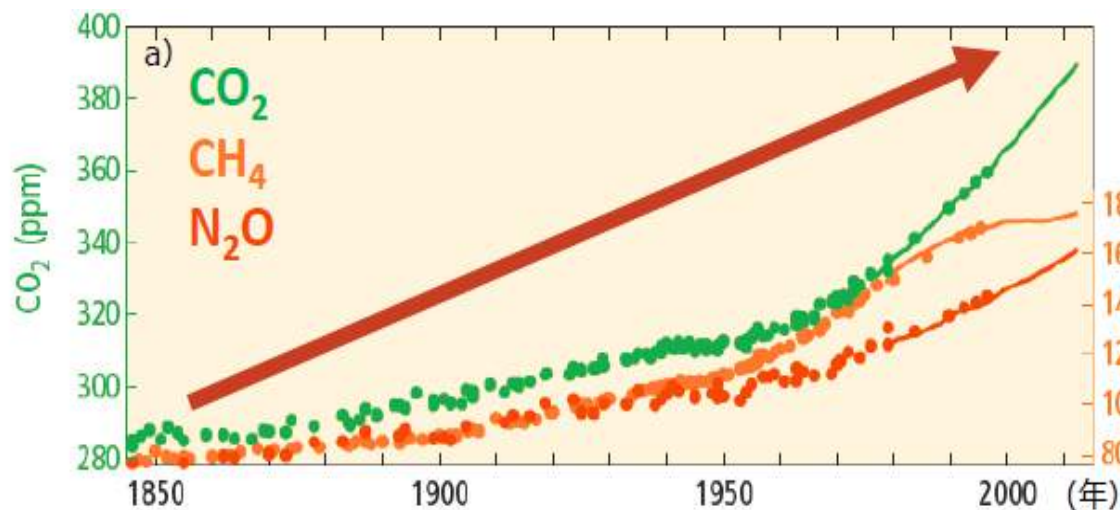
(b) 全球平均の海拔の推移 (1901年～2010年の間に0.19mの上昇)



【気候システムへの将来影響】

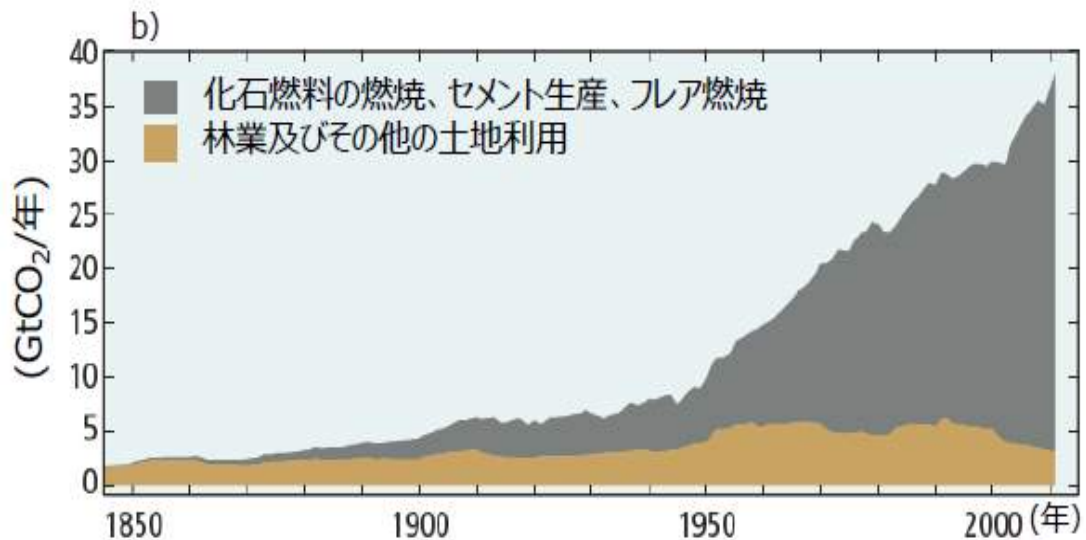
○気候への人為的影響は、大気と海洋の温暖化、世界の水循環の変化、雪氷の減少、世界平均海面水位の上昇、及びいくつかの気候の極端現象の変化において検出。

産業革命以降の温室効果ガス排出量

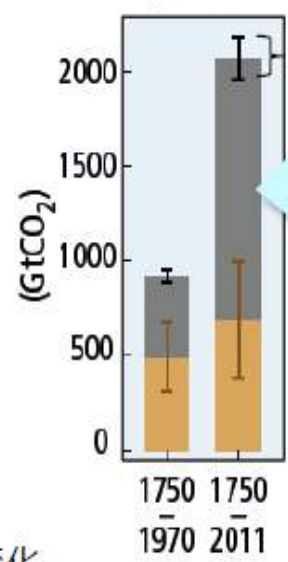


工業化以降、
人為起源のGHGの排
出は、大気中のCO₂、
CH₄、N₂Oの濃度を大き
く増加させた

(IPCC AR5 SYR SPM, p.4, 38-39行目)



CO₂累積排出量



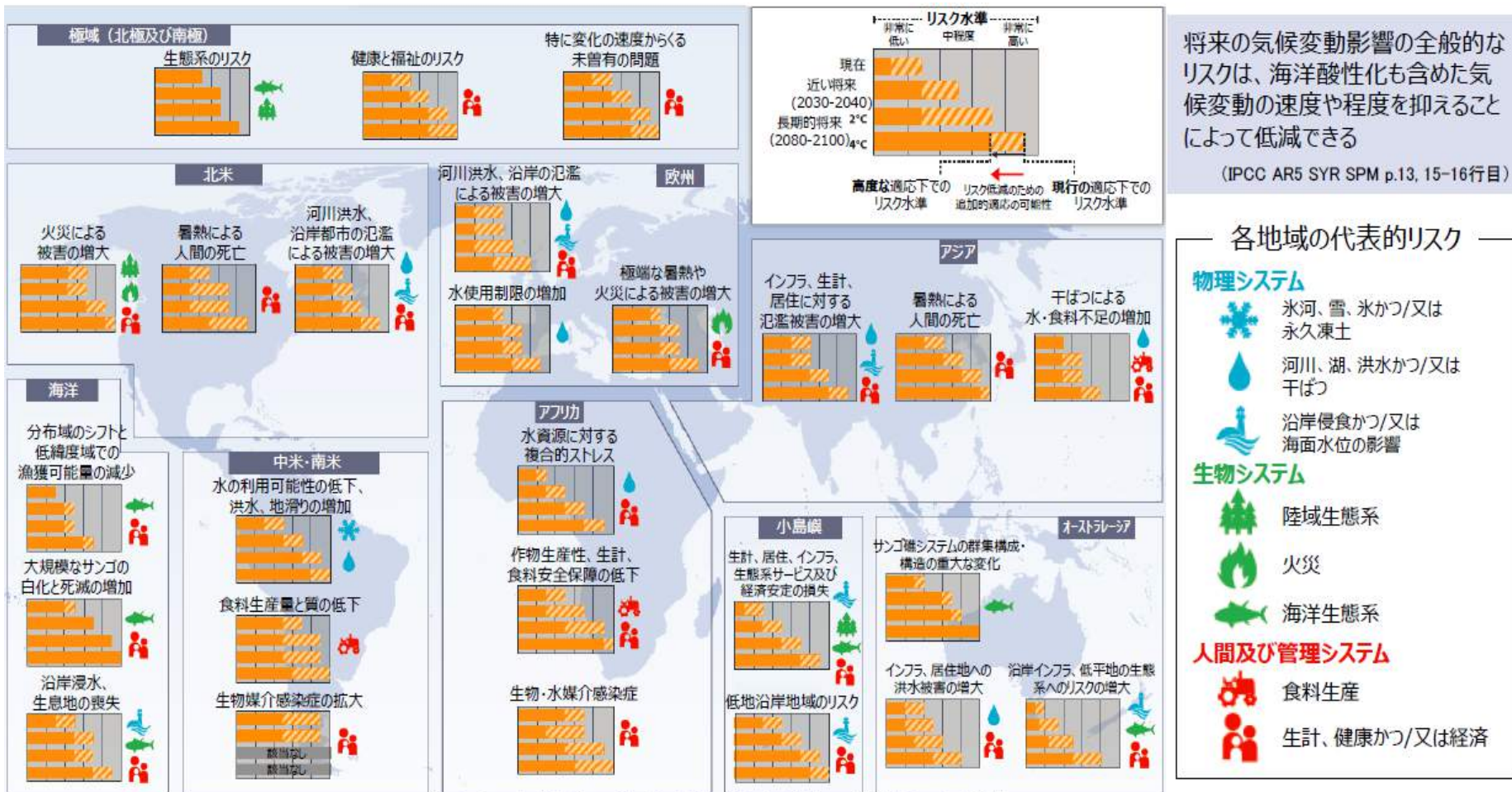
1750年から2011年ま
での人為起源のCO₂排
出量のおよそ半分は、
過去40年で排出された
(確信度が高い)

(IPCC AR5 SYR SPM, p.4, 43-44行目)

図a：世界平均GHG濃度の変化、図b：世界の人為起源CO₂排出量の変化

地球温暖化の影響の地域分布

◆ 温暖化のリスクは地域的に偏在しており、いずれの開発段階においても、恵まれない境遇にある人々やコミュニティに対してより大きくなる（IPCC第5次報告書より）。



図：各地域の主要なリスク及びリスク低減の可能性

パリ協定までの道程

1990

枠組
条約
採択
(1992)

枠組
条約
発効
(1994)

先進国は法的拘束力
ある数値目標。途上
国は削減義務なし

2000

COP3
京都
議定書
採択
(1997)

京都
議定書
発効
(2005)

京都第2約束期間に参加
しない先進国・途上国の
2020年の緩和目標・行動
のルールを設定

2010

京都議定書
第1約束期間
(2008-2012)

COP16
カンクン
合意
(2010)

全ての国が参加する
2020年以降の新たな枠
組みにCOP21(2015)
で合意すると決定

COP17
ダーバン・
プラットフォーム
フォーム
(2011)

約束草
案提出
2015.7

COP21
新枠組みに
合意予定
(パリ)
(2015)

2020

京都議定書
第2約束期間
(2013-2020)
※日本は不参加

2020年までの削減目
標・行動を条約事務局
に登録・実施

新枠組みの
発効

気候変動会議で合意に達しました・・・



どこか他の国が温室効果ガスを削減すべきだという点
で意見が一致しました！

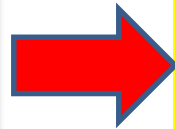
温暖化問題の難しさ

- ◆ 様々な不確実性（例：温室効果ガス濃度が倍増した場合、温度は何度上昇するのか？温度上昇に伴う損害額は？削減コストは？技術開発のスピードは？将来の化石燃料価格は？等）
- ◆ 温室効果ガスはほぼ全ての経済活動に起因し、温室効果ガスの排出削減（緩和）にはコストがかかる←温室効果ガスの削減が経済にプラスならば、温暖化問題が深刻化し、温暖化交渉が難航するはずがない。
- ◆ 緩和の便益はグローバルだが、緩和コストは各国で発生
 - 「フリーライダー」の発生
 - 地球レベルの外部不経済の内部化のためのコスト分担に合意することが極めて難しい。
- ◆ 長期の課題 → 将来世代のために現在世代がどの程度のコストを負担するか ← → 短期の政治サイクルとの不適合
- ◆ 緩和と適応のバランス、他の地球規模課題とのバランスをどうとるか？（食糧生産、貧困撲滅、エネルギーアクセス等）

パリ協定の仕組み

世界全体の目標

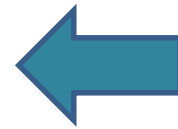
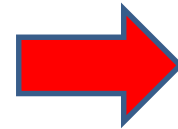
産業革命以降の
温度上昇を
1.5°C~2°C以
内に抑える。



**グローバル
ストックテーク**

2023年から
5年毎に世界
全体の目標に
向けた進捗状
況をチェック

各国の目標
改訂に反映



各国の行動

国情に合わせて温
室効果ガス削減・抑
制目標を設定

進捗状況を定期的
に報告し、レビューを
受ける

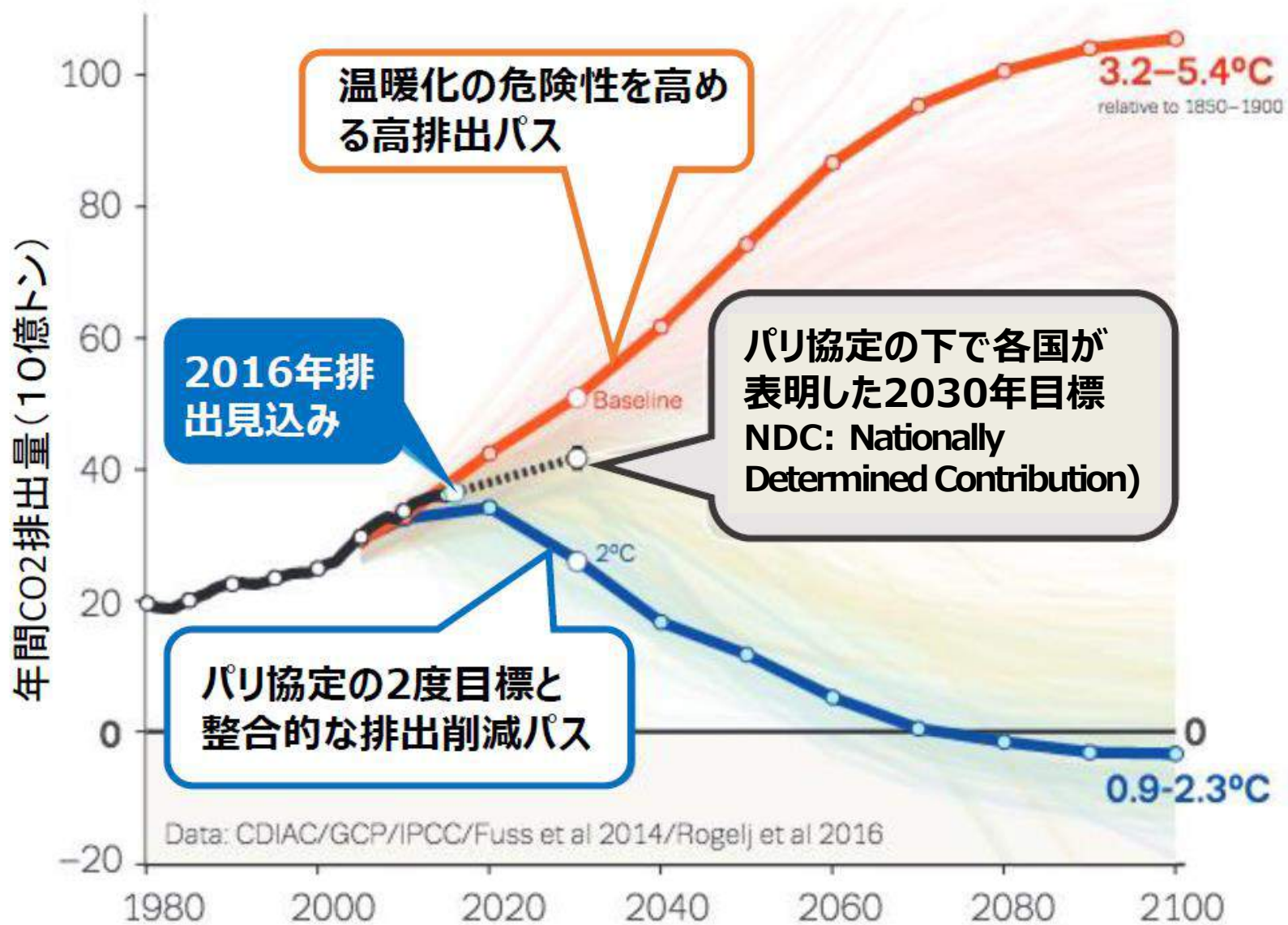
5年ごとに目標を見
直す

2050年を目指した
長期戦略の策定

パリ協定で主要国は目標を設定

国名	温室効果ガス削減・抑制目標
日本	2030年に2013年比26%減
米国	2025年に2005年比26-28%減
E U	2030年に90年比40% 減
ロシア	2030年に90年比25%-30%減
韓国	2030年にBAU比37%減
中国	2030年にCO2排出量の対GDP比を2005年比で60-65%減（2030年頃にCO2排出量をピークアウト）
インド	2030年にGHG排出量の対GDP比を2005年比で33 -35% 減

・・・しかし各国目標は2度目標達成には不十分

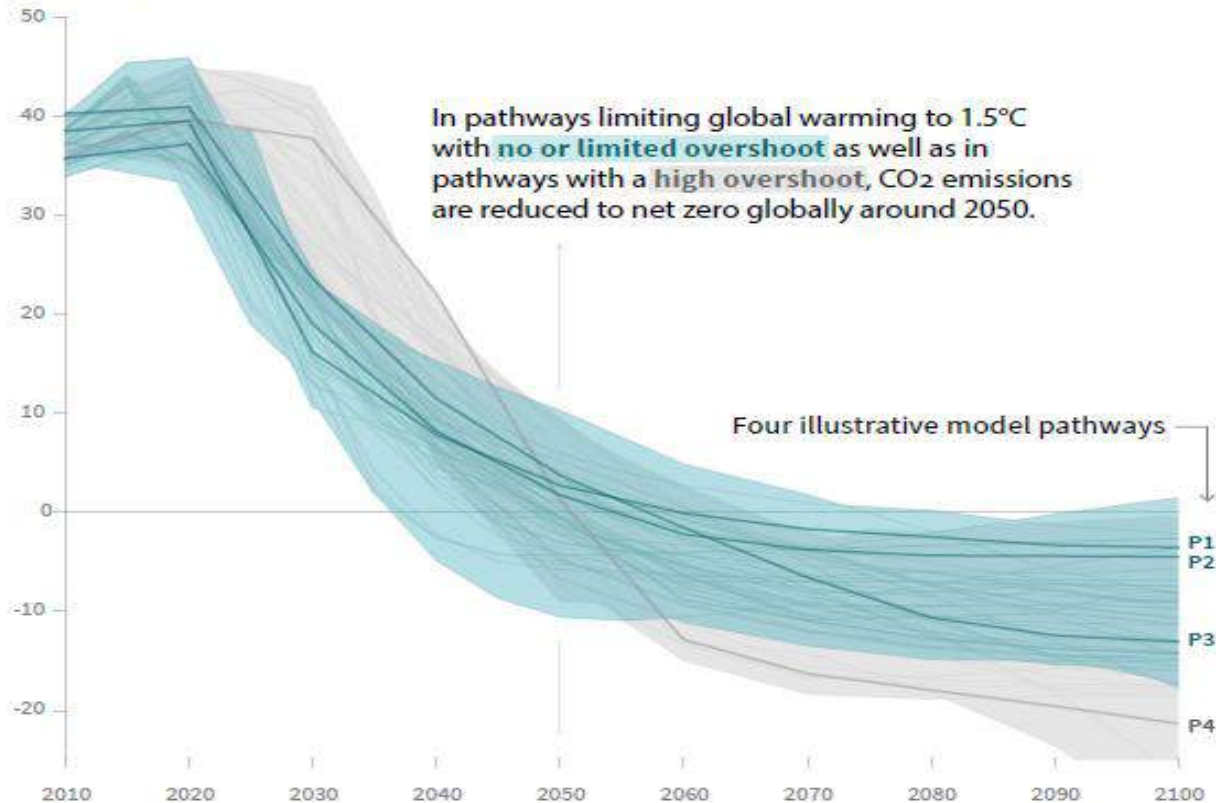


1.5°C目標は更なる深掘りを要求

- ◆ 10月のIPCC総会で1.5°C特別報告書を採択。
- ◆ 2°C目標を大幅に上回り、2030年には2015年比▲45%、2050年頃にネットゼロエミッション達成が必要。
- ◆ 削減コストは2°C目標に比して3-4倍に拡大

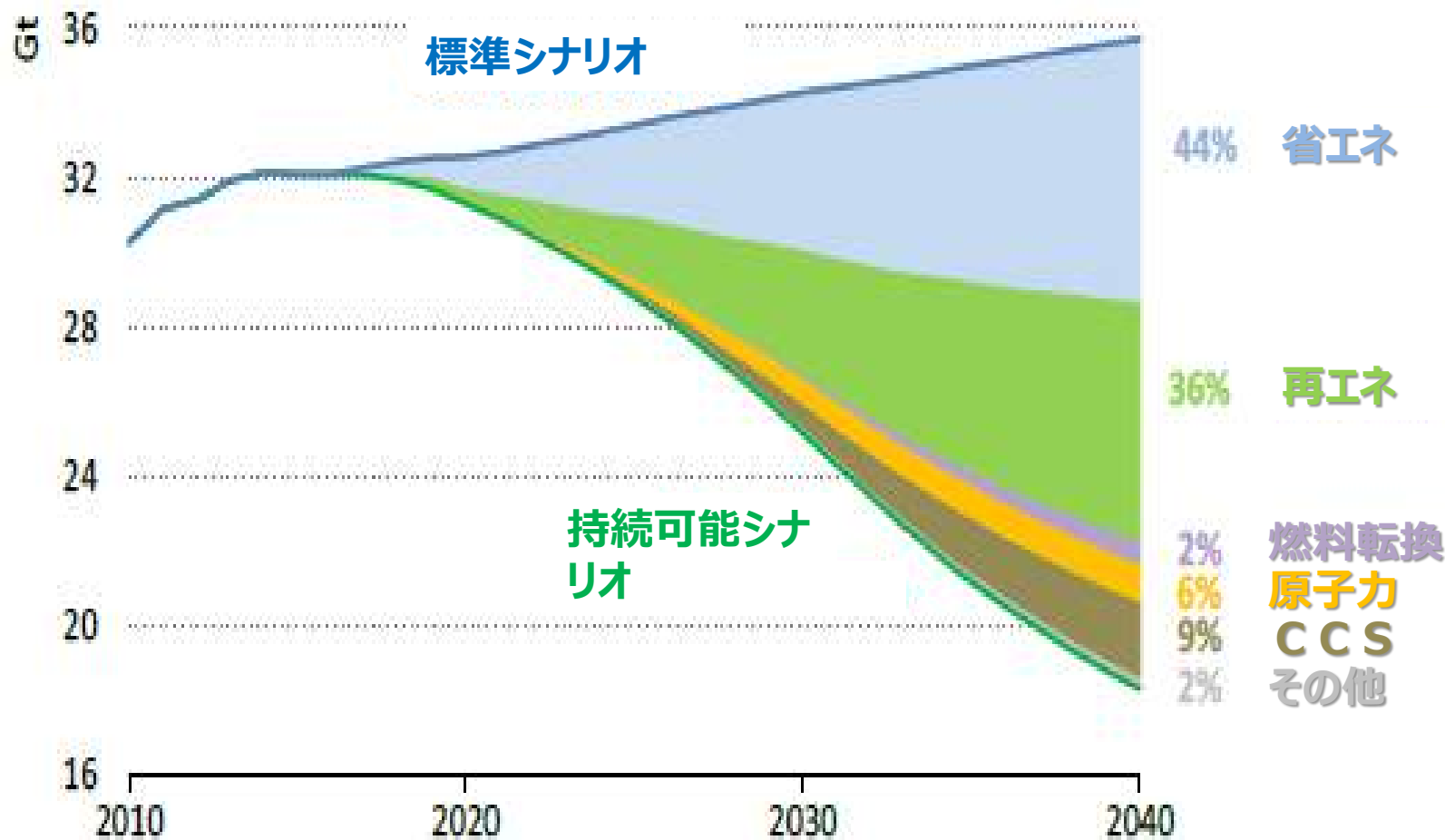
Global total net CO₂ emissions

Billion tonnes of CO₂/yr



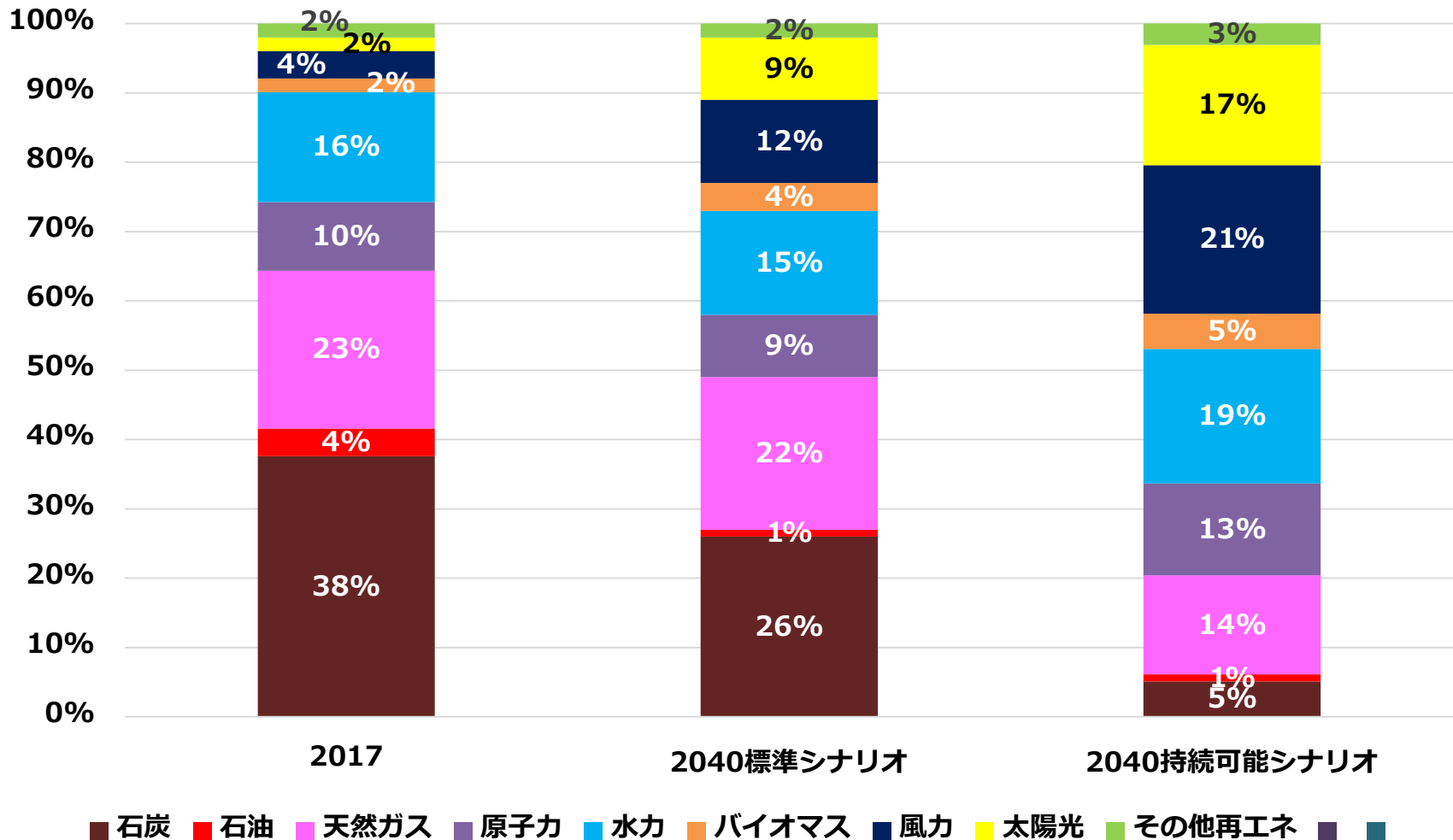
省エネ、再エネ、原子力、炭素貯留隔離の総動員が必要

- ◆ パリ協定の1.5℃～2℃目標を達成するためには省エネ、再エネ、原子力、炭素貯留隔離（CCS）の総動員が必要



1.5℃～2℃目標達成に必要な電源構成

◆ 持続可能シナリオ（1.5℃～2℃目標と整合的）では、世界の電源構成で石炭シェアの大幅削減、再エネ、原子力のシェア拡大が必要。



気候変動と国連持続可能開発目標(SDGs)

- ◆ 気候変動は17の持続可能開発目標のうちの1つであり、他に優先する至高の目標ではない。気候変動防止と他の目標の間にはシナジーもトレードオフも存在。
- ◆ 17の持続可能目標は、安価で信頼できるエネルギー供給に裏打ちされた経済成長を必要とする。

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

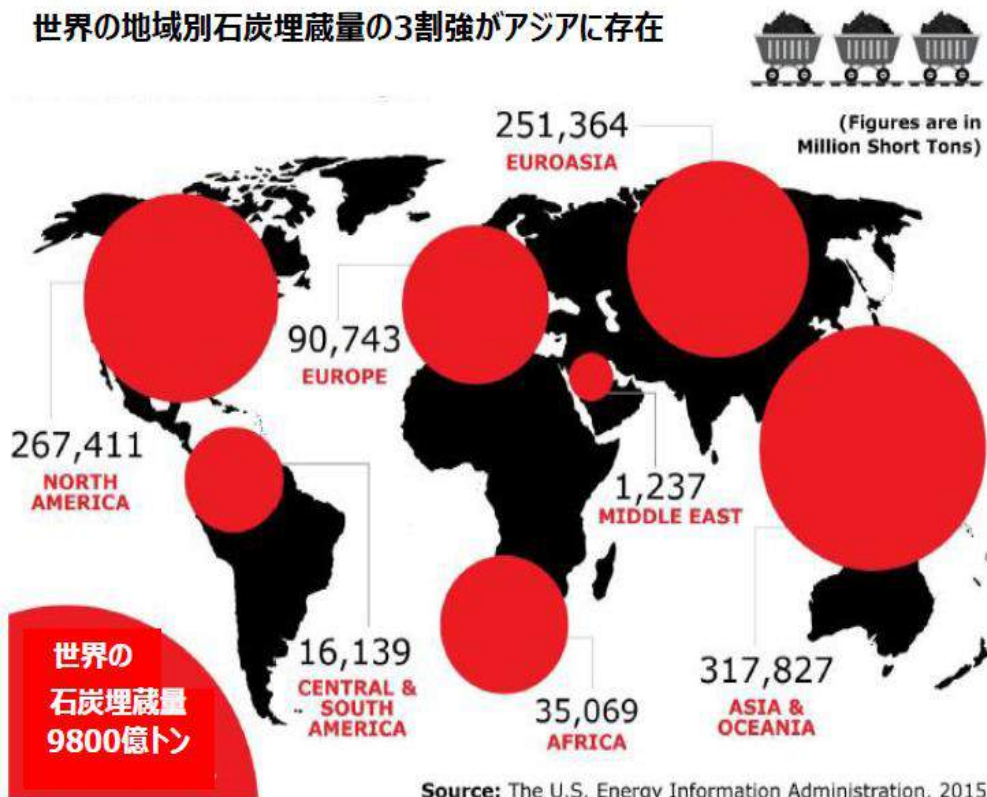
世界を変えるための17の目標



安価なエネルギーへのアクセスは途上国の最重点事項

- ◆ 途上国にとってエネルギー貧困の克服はSDGを達成するための要件。
- ◆ 未だに11億人が電力アクセスを有しておらず、2000年以降の電力アクセスの改善の大部分約7割は化石燃料（主に石炭）によって達成。
- ◆ アジアには安価な石炭資源が潤沢に存在。

世界の地域別石炭埋蔵量の3割強がアジアに存在



途上国において新たに電力アクセスを得た人口と燃料別内訳



炭素価格引き上げへの抵抗

- IPCC1.5°C特別報告書は1.5°C安定化のためには2030年に135～5500ドル/t-CO₂,2050年に245-13,000ドル/t-CO₂の炭素税が世界レベルで必要
- フランス・マクロン政権の炭素税引き上げ（現在44.6 €/t-CO₂→2019年1月55€/t-CO₂ →2022年 86.2 €/t-CO₂）に対するイエローベストの反発
- 先進国フランスですら炭素価格引き上げに抵抗。これから経済発展する途上国では受容度は更に低い。

Un-discounted 2010 US Dollars

Carbon Tax per Metric Ton of CO₂

	2°C Pathway Low	2°C Pathway High	1.5°C Pathway Low	1.5°C Pathway High
2030	\$10	\$200	\$135	\$5,500
2050	\$45	\$960	\$245	\$13,000
2070	\$120	\$1,000	\$420	\$17,500
2100	\$160	\$2,125	\$690	\$27,000

「エリートは世界の終わりを語るが、自分たちには月末の支払いが問題だ」



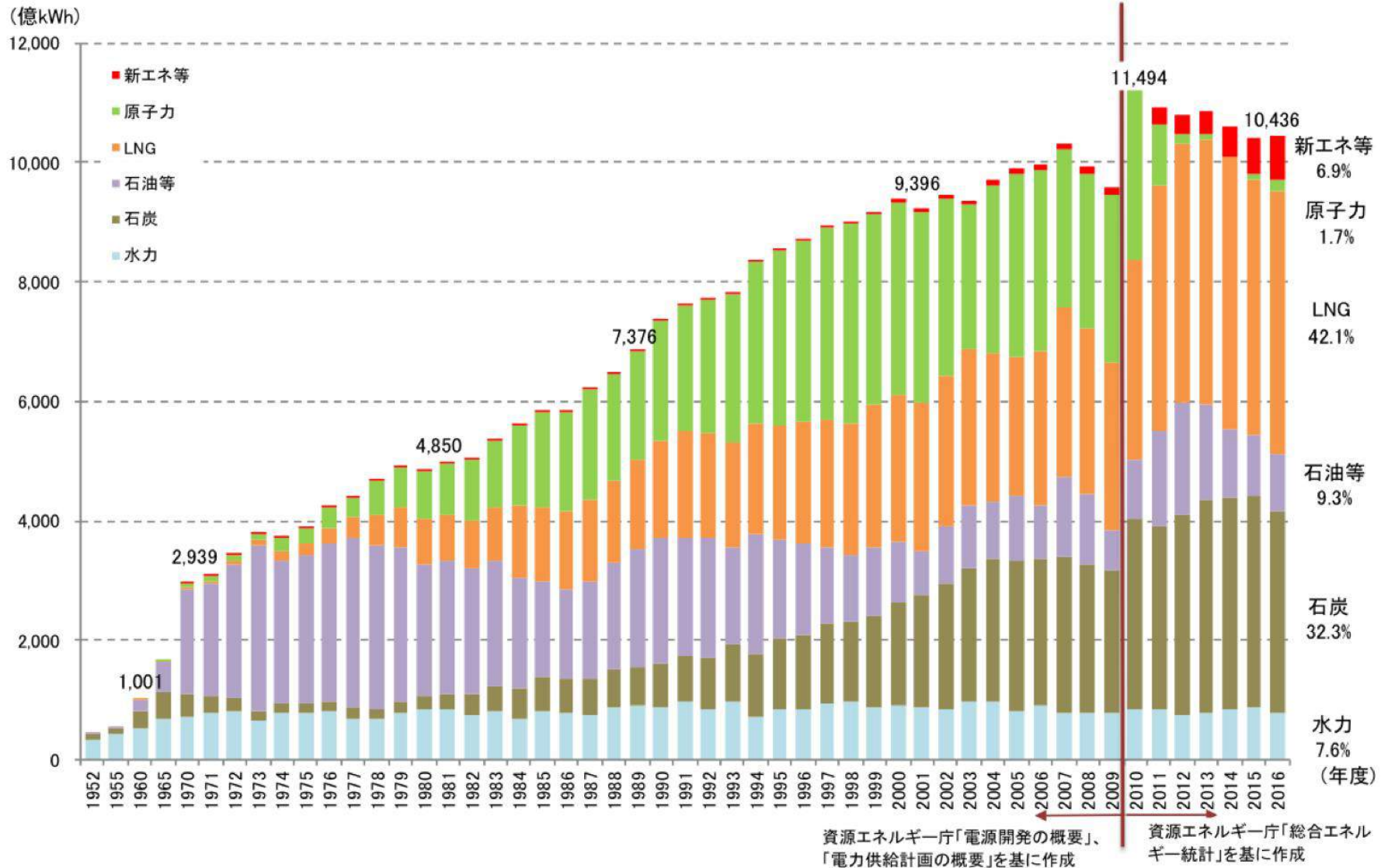
世界は脱炭素化に向かうのか

- 中長期的な方向性として低炭素化に向かうことは確実だが、1.5℃～2℃の温度目標、今世紀後半のネットゼロエミッションの実現には大きな疑問
- 1.5℃～2.0℃目標は誰も責任を問われないグローバル目標（→だからこそ合意できた）。
- 各国が直面する課題は温暖化だけではない。特に途上国では温暖化防止よりも安価かつ潤沢なエネルギー供給に支えられた経済成長と生活レベルの向上が最優先。
- 1.5℃～2.0℃目標を達成するためには石炭利用の大幅削減が必要。他方、今後、排出量が増大するアジア地域には安価で潤沢な石炭資源が存在→国産石炭を使わないオプションは考えられない。
- 温度目標達成のためにIPCCが求める炭素価格水準と現実の世界には大きな乖離（例：パリの騒乱事件）
- トランプ政権のパリ協定離脱表明、米中貿易戦争の拡大は国際協調を前提とする温暖化防止には逆風

我が国のエネルギーミックスをめぐる課題

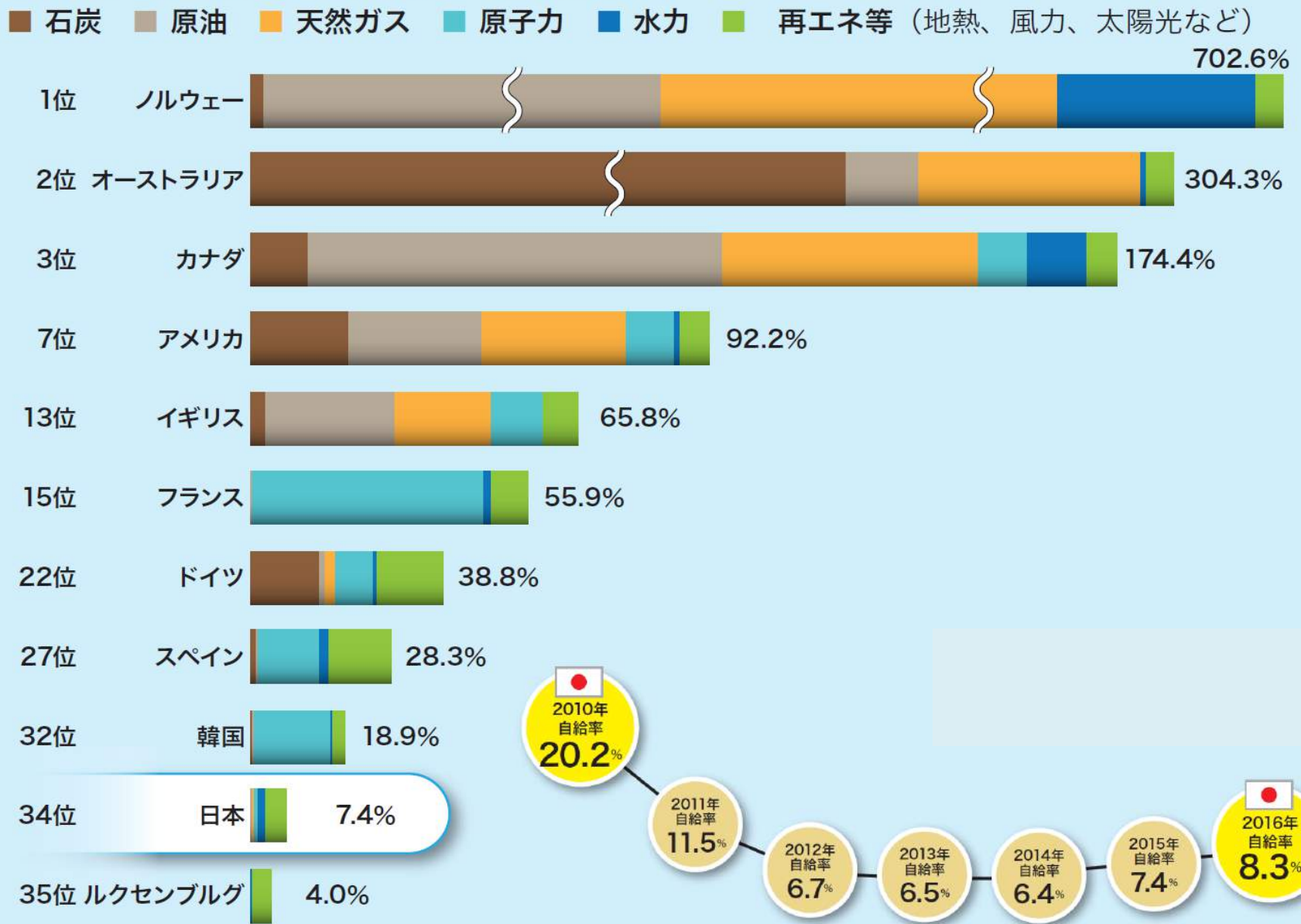


原発停止により化石燃料のシェアが大幅に拡大

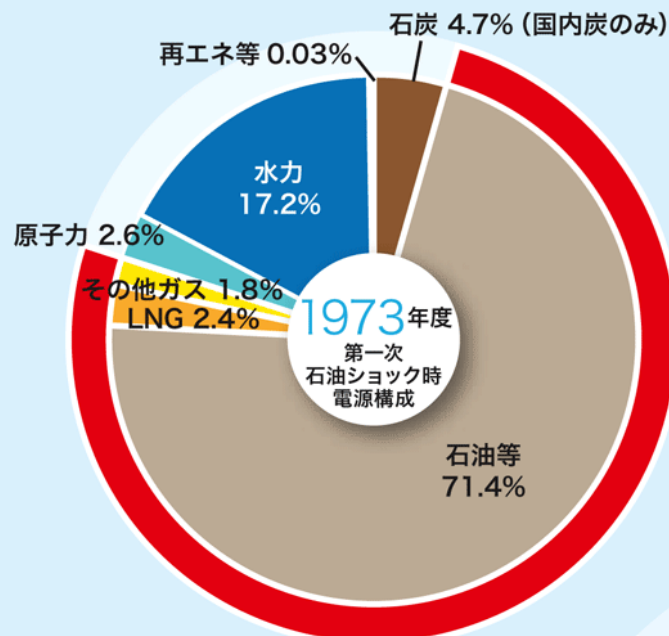


エネルギー自給率は主要国中最低

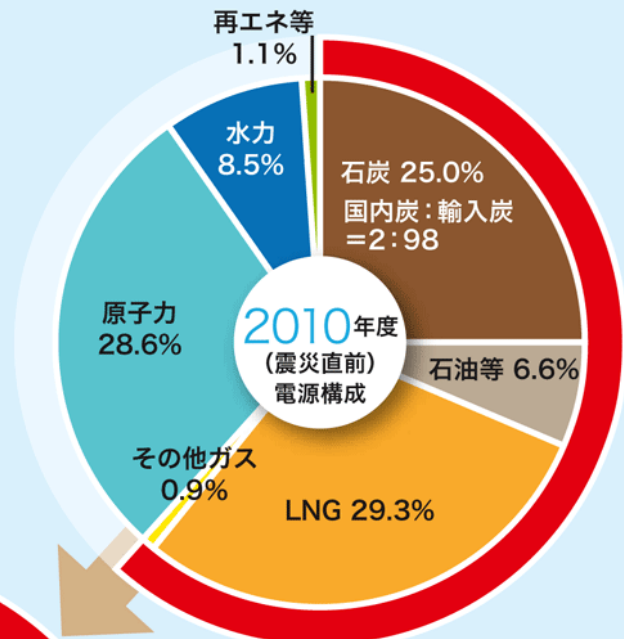
主要国の一次エネルギー自給率比較 (2015年)



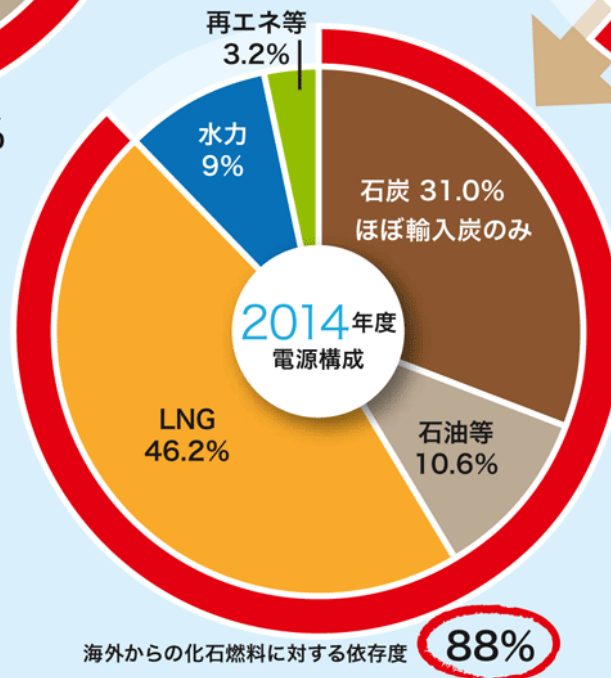
電力部門の輸入化石燃料依存度は石油危機時を超過



海外からの化石燃料に対する依存度 **76%**
※電源構成ベース



海外からの化石燃料に対する依存度 **62%**



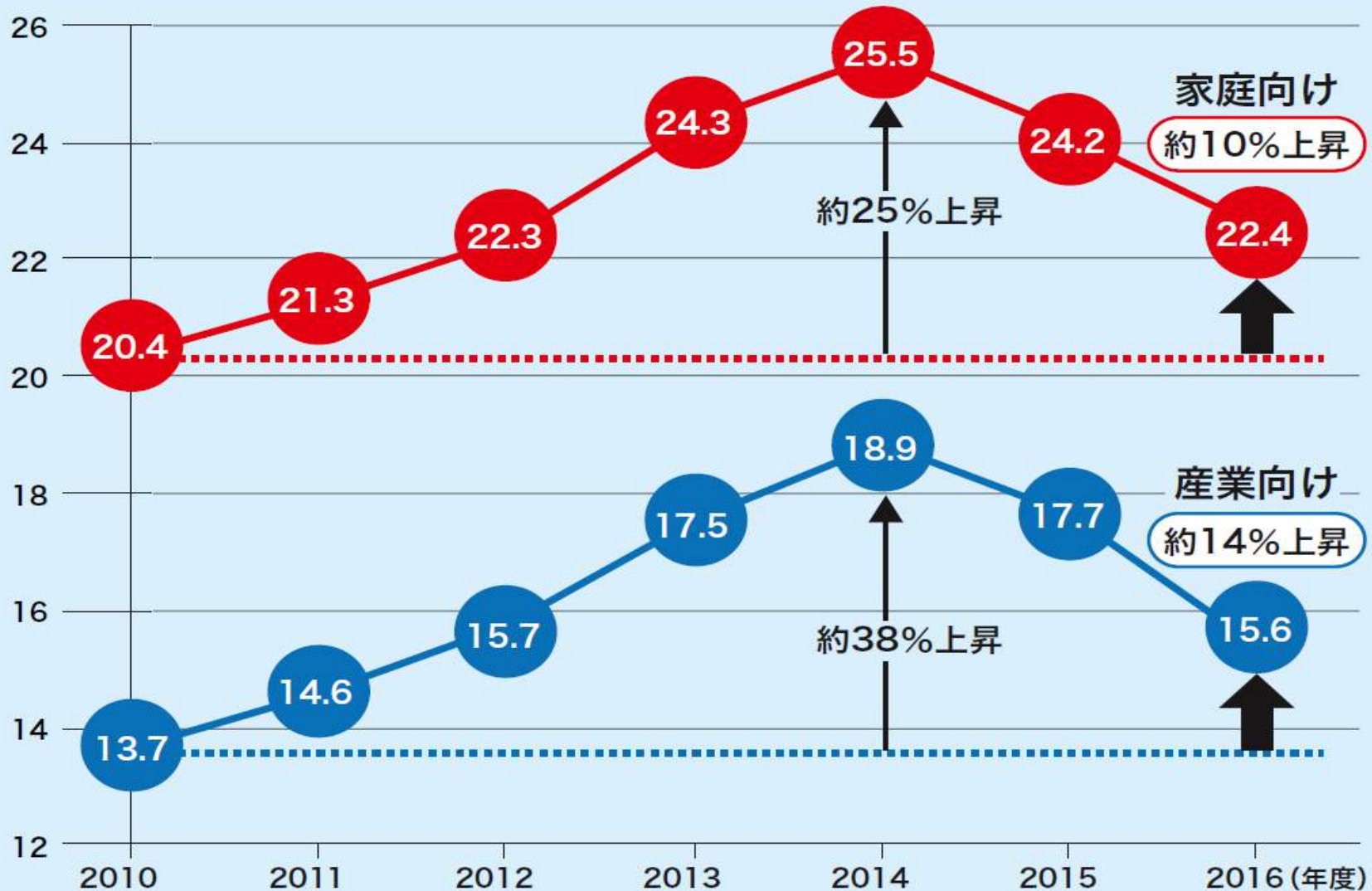
海外からの化石燃料に対する依存度 **88%**

化石燃料輸入増により電力料金は上昇

◆ 最近の電力料金の低下は石油価格の低下によるもの。先行きは不透明

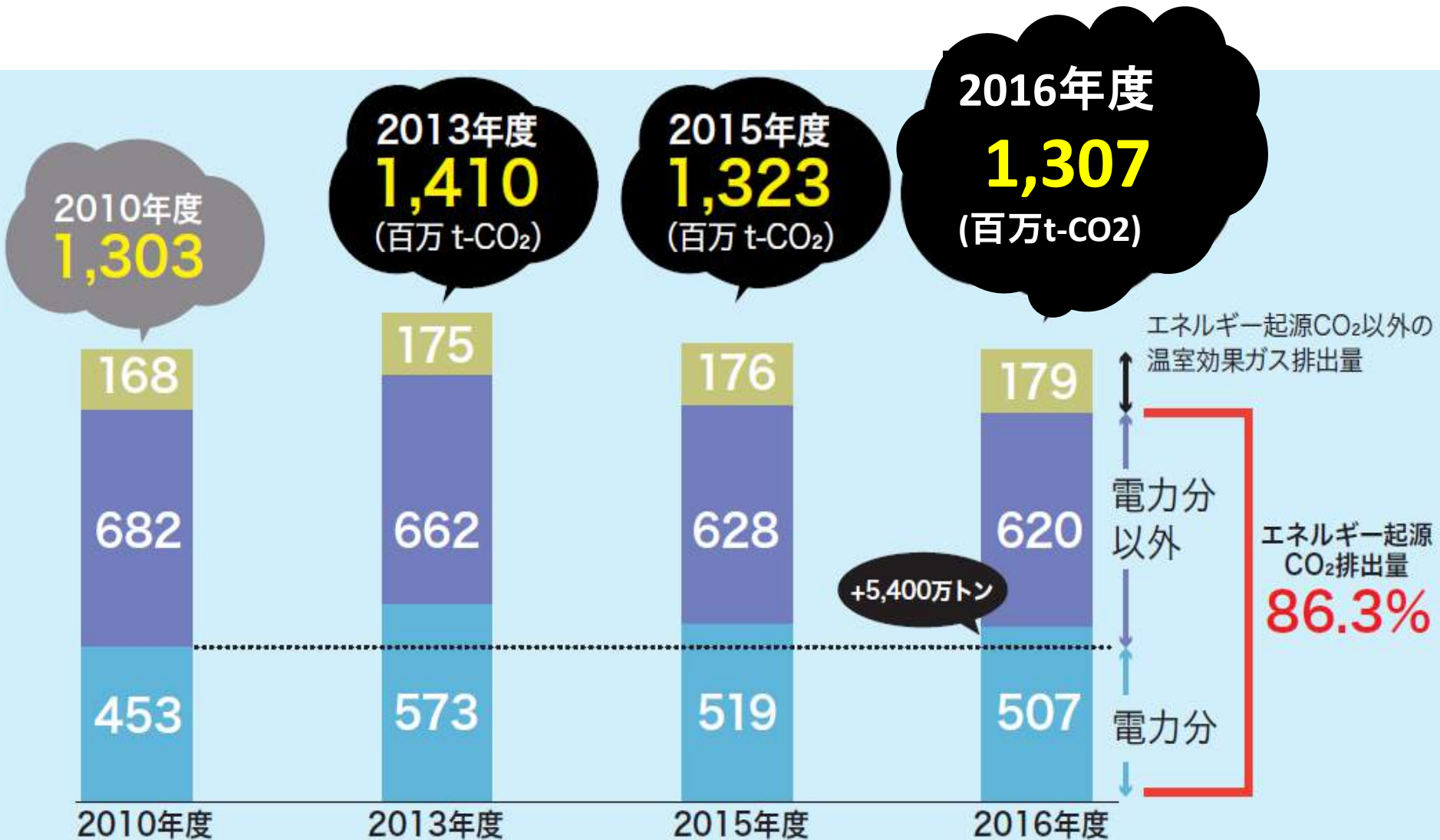
電気料金の推移

(円/kWh)



CO2排出量も拡大

◆ 最近の低下は原発再稼動と再エネ導入拡大によるもの

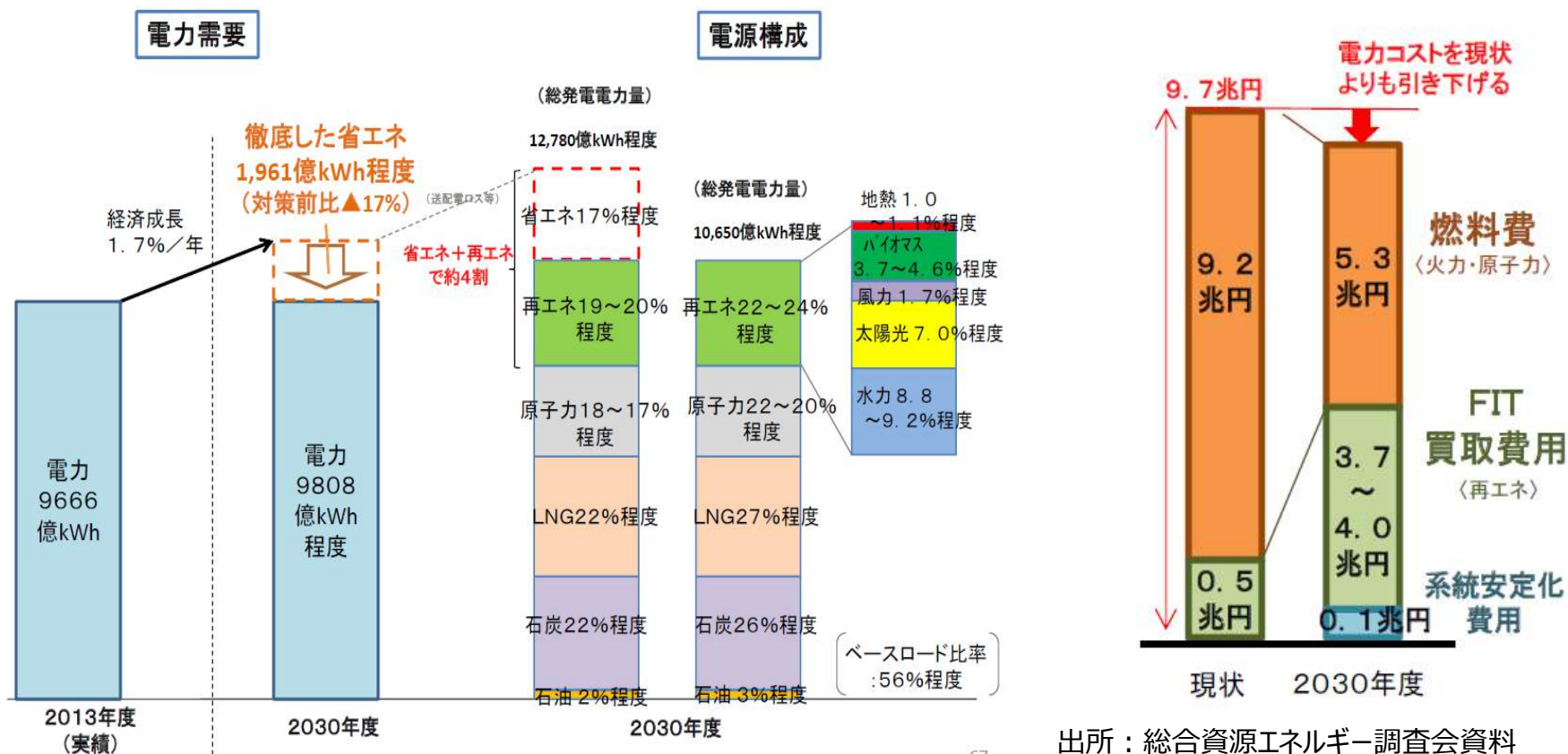


日本の目標値の根拠となったエネルギーミックス

- ◆ 日本の削減目標は3つの要請を満たすエネルギーミックスを踏まえたボトムアップの数字。

【基本方針】

- (1) 自給率は震災前を更に上回る水準（概ね25%程度）まで改善すること
- (2) 電力コストは現状よりも引き下げる
- (3) 欧米に遜色ない温室効果ガス削減目標を掲げ世界をリードすること



2030年目標をめぐる論点と課題

- 原子力の再稼動・運転期間延長でエネルギーミックスが実現するのが理想的だが、問題はその実現可能性。
- 再稼動が進まない中で26%を達成するため、省エネ、再エネを大幅に積み増しすれば、電力料金は大幅に上昇。再エネ関連産業は裨益したとしても、エネルギーコストの上昇は日本経済全体にとってマイナス要因。
- 「再エネ拡大のためには電力料金が上昇しても良い」という「意識の高い個人」の意向とわずかなコスト差を巡って熾烈な国際競争をしている産業とを混同することは禁物。日本経済の停滞は翻って個人所得にも悪影響。
- 日本の26%目標は3条件（自給率回復、電力コスト引き下げ、遜色ない温暖化目標）をバランスさせるエネルギーミックスの結果のボトムアップの数値。
- 「何が何でも26%」はトップダウンの発想であり、合理性を欠く。再稼動が予定通り進まない場合、その時点の再エネコスト（システムコストを含む）、化石燃料価格、経済情勢を勘案し、3つの要請を満たす新たな均衡解を追求すべき。場合によっては26%の下方修正の可能性も排除すべきではない。
- 26%目標の目処が立っていない段階で更なる引き上げを目指すことは不適切。
- パリ協定の本質は各国は自国の国情に応じて目標を設定するというボトムアップの枠組み。→他国の眼を気にして野心的な目標を設定し、自縄自縛になるリスクの高い国日本

第5次エネルギー基本計画

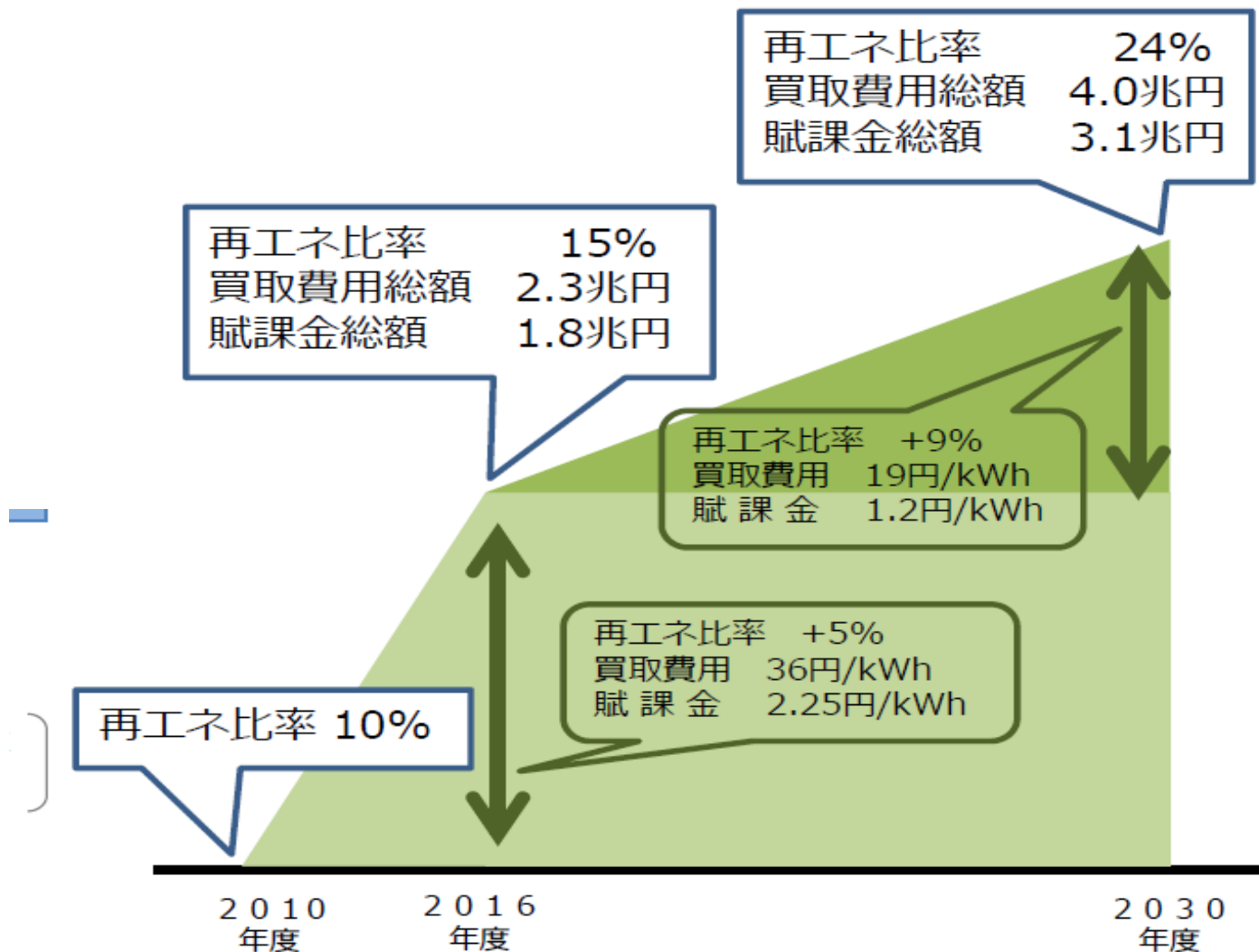
- 2030年に向けて～エネルギーミックスの確実な実現
 - ◆ 再エネ：電源構成比率22～24%
 - ◆ 原子力：電源構成比率20～22%
 - ◆ 化石燃料：電源構成比率56%
 - ◆ 省エネ：実質エネルギー効率35%減
- 2050年に向けて～「エネルギー転換」と「脱炭素化」への挑戦→ 長期戦略に反映
「2050年温室効果ガスを80%削減」に向け、エネルギー転換、脱炭素化に挑戦。
技術革新による大きな可能性と不確実性。2050年の目標数値（エネルギーミックス）は示さず、野心的シナリオを複数用意した上で、あらゆる選択肢を追求。最新情報と技術の動向に基づいた科学的なレビューを実施。
 - ◆ 再エネ：経済的に自立し「脱炭素化」した主力電源化をめざす。
 - ◆ 原子力：実用段階にある「脱炭素化」の選択肢のひとつ。人材・技術・産業基盤の強化により、安全性・経済性・機動性にすぐれた原子炉の追求、バックエンド問題の解決に向けた技術開発を推進。
 - ◆ 化石燃料：エネルギー転換の過渡期において主力エネルギー源として必要。資源外交を強化。よりクリーンなガス利用にシフトし、非効率な石炭火力発電はフェードアウト
 - ◆ 技術革新：水素、蓄電池等。

再エネは目的ではなく手段

- 世界における再エネ発電コストの急速な低下は朗報。再エネが主力電源になる可能性が拡大。
- 他方、再エネコストには地域性があり、世界のコスト低下傾向を理由に日本で再エネが競争力ありと主張することはできない。低下傾向にあるとはいえ、他国よりも高いFITは日本の高コストの証左。
- 日本のFITは再エネコスト低下に貢献しておらず、世界の再エネコスト低下傾向を後追いしている状況。FIT会計等の透明性確保と英国のLCFのようなコスト上限値を検討すべき。
- 再エネ由来だろうと石炭由来であろうと電力に色はない。利便性ゆえに爆発的に普及した固定電話→携帯電話、馬車→自動車のアナロジーを使うことには疑問。
- 再エネが電源構成の大宗を占めるためには、再エネのシェア増大に伴って増大する系統安定化コストを含め、補助金無しで既存電源と競争できるようになる（経済的に自立し、脱炭素化した主要電源）ことが必要。
- 再エネ拡大に伴うコスト増を吸収するためには、原発再稼動による化石燃料輸入コストの圧縮が不可欠。
- 再エネはエネルギー温暖化政策の手段であり、目的ではない。同じ非化石電源の再エネと原子力を対立概念でとらえ、再エネを推進するために原子力を排除する発想は不毛。

膨張するFIT買取費用

- ◆ 再エネの更なる拡大のためにはFITコストの削減とシステムコストの抑制が不可欠。

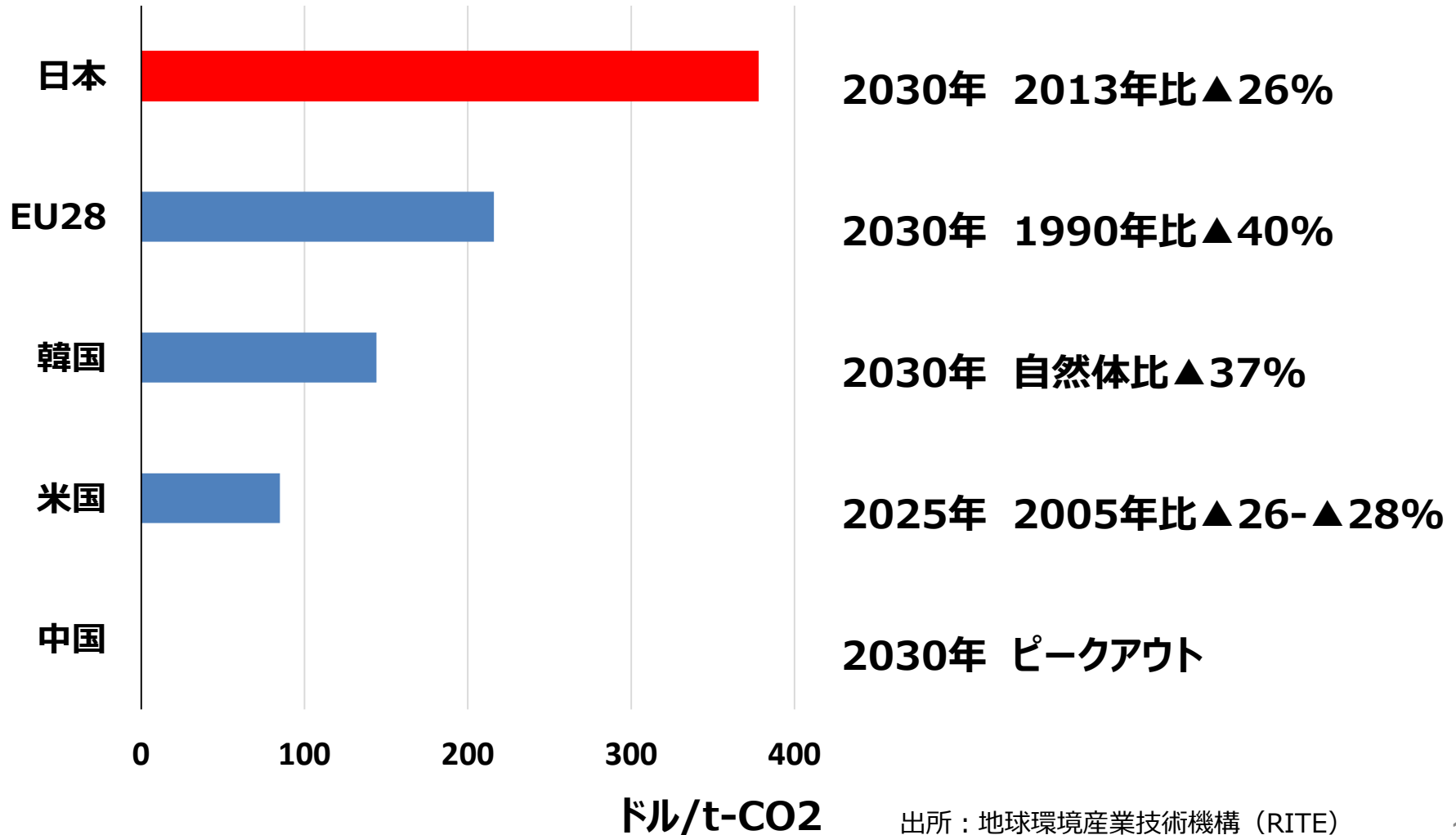


原子力議論の先送り

- 原油価格低下による電力料金の見かけ上の落ち着き、根強いネガティブな世論、脱原発で一致した野党等を背景に原発リプレース、新增設についての難しい議論を回避する傾向（原発に政治資源を費やしたくない）
- 中長期の脱炭素化のため、「原子力は実用段階にある脱炭素化の選択肢」、「安全炉の追求」としつつ、具体的方針は「安全性の確認された既存原発の再稼働」とどまり、「原発のリプレース、新增設」については沈黙。
- 再エネやバッテリーのコストも低下している中で、原子力を中長期の脱炭素化の手段として決め打ちする必要はないが、脱炭素化エネルギーシステムの一つとして位置付ける以上、他のエネルギーシステムに比してコスト、リスク面全体で優れたパフォーマンスを示すならばリプレース、新增設されるとの方針を明確化すべき。
- 電力自由化の中で巨額な初期費用を要する原発の事業環境は厳しい。安全炉の追求、原子力の産業、技術、人材の育成を打ち出しても、リプレース、新增設についての方向性が不透明であれば民間企業が呼応できない。
- 原発リプレース、新增設には長いリードタイムが必要。既存炉が順次、運転期間を終えていく中で議論の先送りは中長期的な原子力オプションの活用を事実上、封印することとなり、「戦略なき脱原発」への漂流を招く。

主要国の目標の限界削減費用

- ◆ 日本の目標値の限界削減費用は最も高いレベル。原発の再稼動が進まず、26%目標達成のために再エネを上乗せすれば更にコストが上昇。

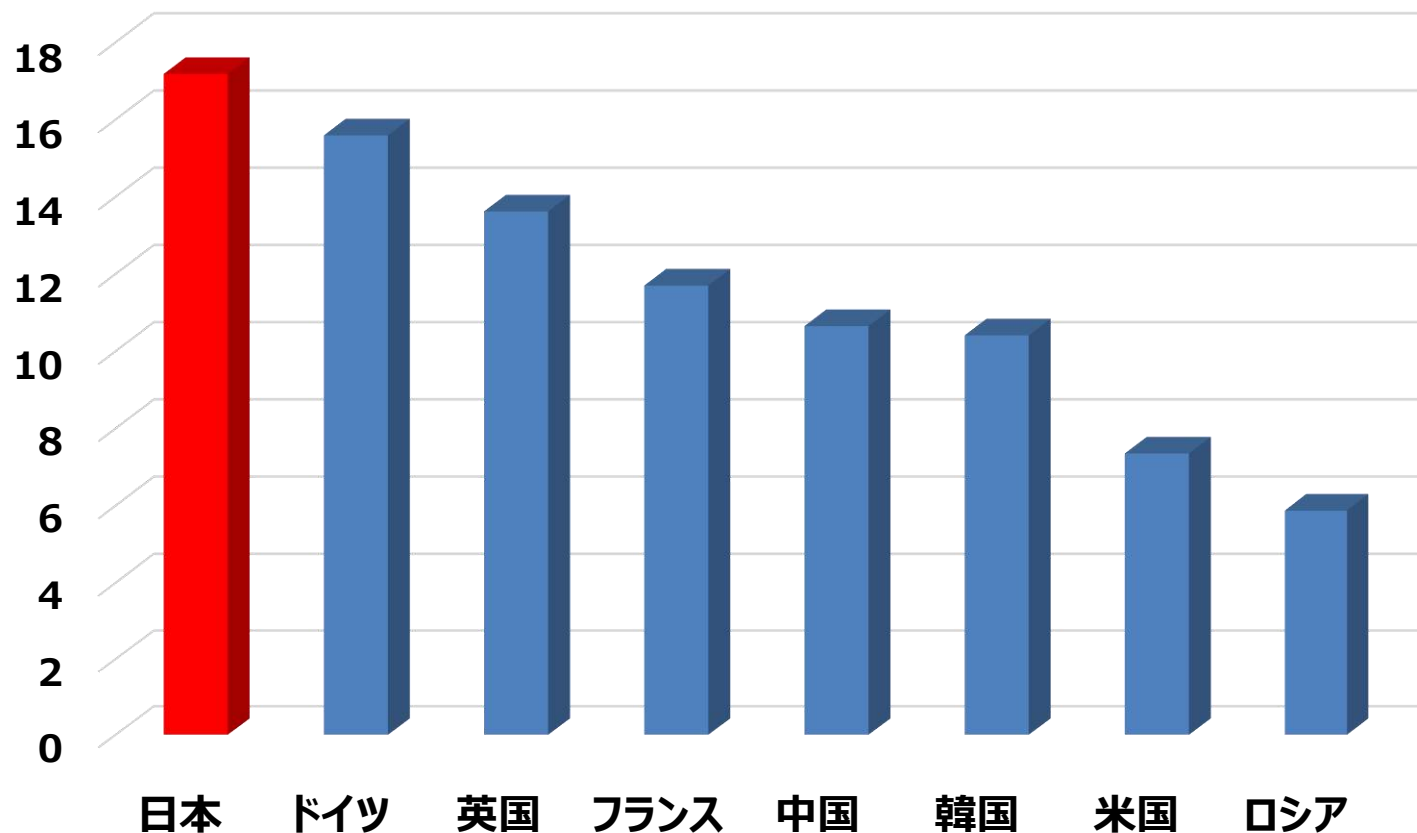


主要国の産業用電力料金

- ◆ 日本の産業用電力料金は主要国中最も高い。更なるコストアップは国際競争力に悪影響を与え、産業空洞化を招く恐れ。

円/kWh

主要国の産業用電力料金比較(2016年)



出所：海外電力調査会

不確実性下の長期戦略の在り方

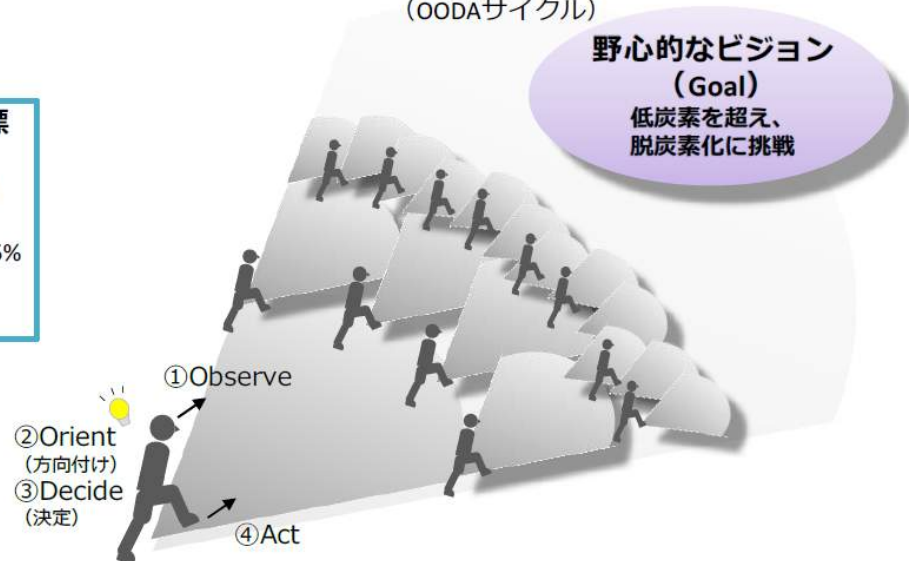
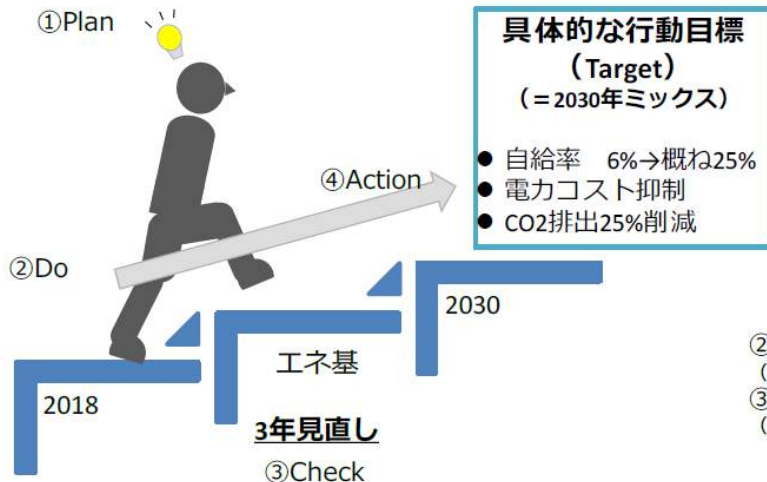
- ◆ 2050年▲80%はビジョンであり、特定のエネルギーミックスに裏打ちされた2030年目標とは正確を異にする。
- ◆ 「多様性を加味したしなやかな複線シナリオ」の下では特定の技術の決め打ち／排除をせず、エネルギー転換、脱炭素化に向けたあらゆる技術的選択肢の可能性を追求。

- 相応の蓋然性をもって
予見可能な未来
(予見性⇔現実的)
- インフラ・システム所与
 - ✓ 既存の人材
 - ✓ 既存の技術
 - ✓ 既存のインフラ

- 不確実であり、それゆえ
可能性もある未来
(不確実性⇔野心的)
(VUCA : Volatility, Uncertainty,
Complexity, Ambiguity)
- インフラ・システム可変
 - ✓ 人材育成
 - ✓ 技術革新
 - ✓ インフラ更新

実現重視の直線的取組
(PDCAサイクル)

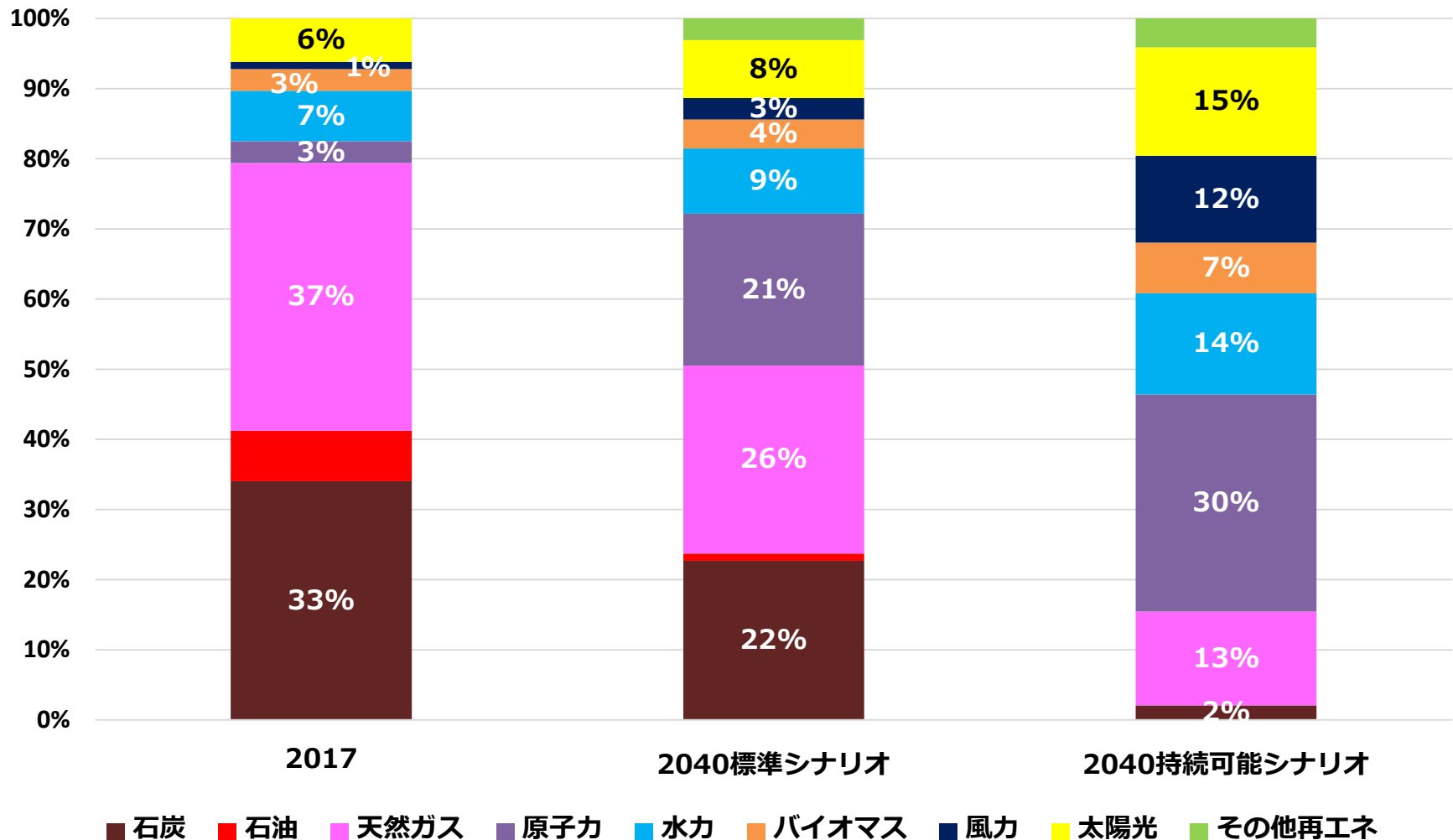
多様な選択肢による
複線シナリオ
(OODAサイクル)



出所：経産省エネルギー情勢懇談会

長期の低炭素化と原子力

- ◆ IEAの2018年世界エネルギー見通しではパリ協定と統合的な持続可能シナリオを提示。
- ◆ 日本については再エネと並んで原発のシェア拡大の必要性を示唆。



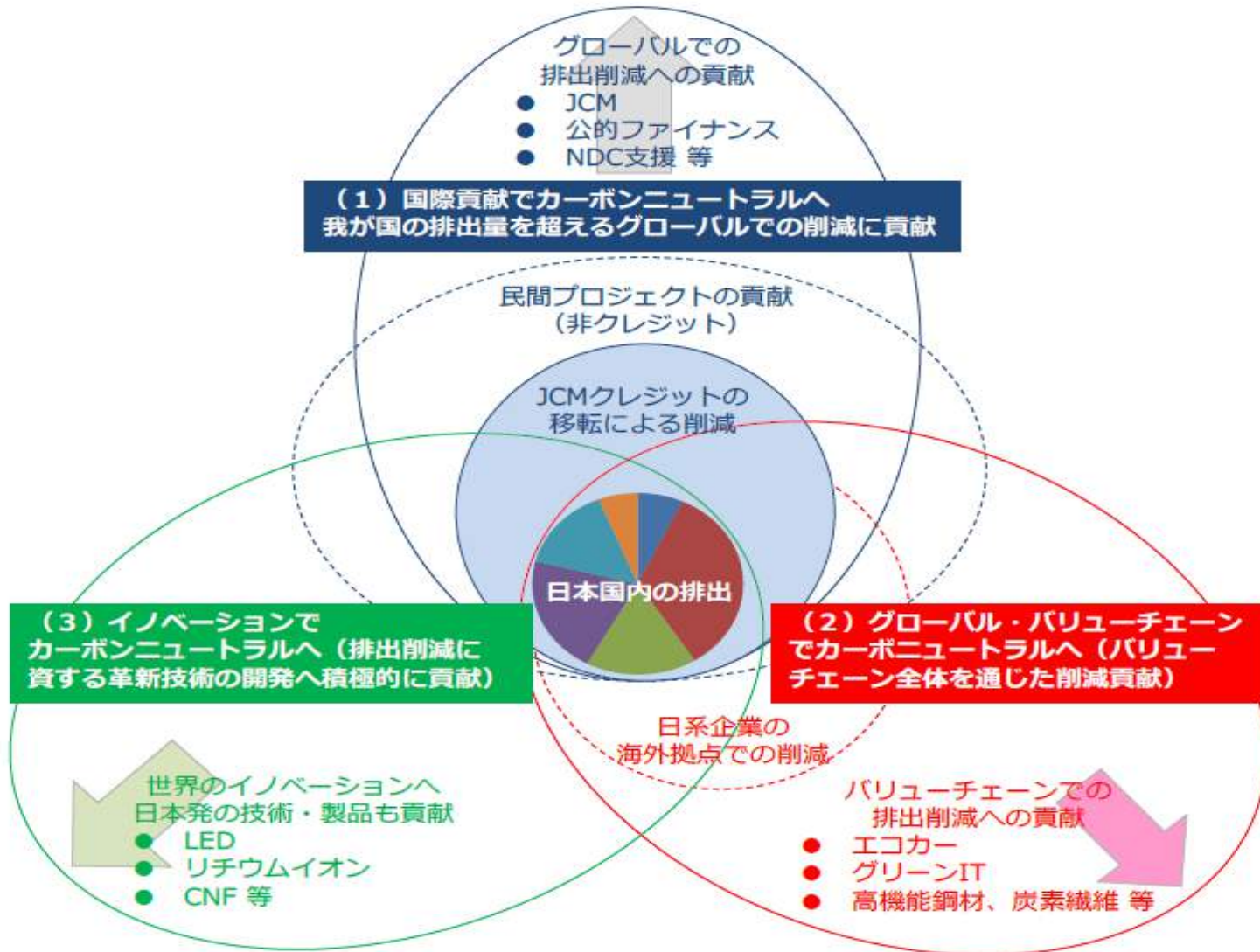
究極的にはイノベーションがカギ

- ◆ 人々の利便性を損なわずに脱炭素化を行うためには革新的技術開発が必要。既存技術への補助と革新的技術開発の間の資金リソース分担の見直しが必要。

<p>エネルギーシステム 統合技術</p>	<p>○革新技術を個別に開発・導入するだけでなく、ICTによりエネルギーの生産・流通・消費を互いにネットワーク化し、デマンドレスポンス（DR）を含めてシステム全体を最適化。AI、ビッグデータ、IoT等を活用。</p>		
<p>システムを構成する コア技術</p>	<p>○次世代パワエレ：電力損失の大幅削減と、新たなシステムの創造 ○革新的センサー：高耐環境性、超低電力、高寿命でメンテナンスフリー ○多目的超電導：モーターや送電等への適用で、電力損失を大幅減</p>		
<p>分野別革新技術</p>	<p>省エネルギー</p> 	<p>1 革新的 生産プロセス</p>	<p>○高温高圧プロセスの無い、革新的な素材技術 ➢ 分離膜や触媒を使い、20～50%の省エネ</p>
		<p>2 超軽量・ 耐熱構造材料</p>	<p>○材料の軽量化・耐熱化によるエネルギー効率向上 ➢ 自動車重量を半減、1800℃以上に安定適用</p>
	<p>蓄エネルギー</p> 	<p>3 次世代 蓄電池</p>	<p>○リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池 ➢ 電気自動車が、1回の充電で700km以上走行</p>
		<p>4 水素等製造・ 貯蔵・利用</p>	<p>○水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発 ➢ CO₂を出さずに水素等製造、水素で発電</p>
	<p>創エネルギー</p> 	<p>5 次世代 太陽光発電</p>	<p>○新材料・新構造の、全く新しい太陽光発電 ➢ 発電効率2倍、基幹電源並みの価格</p>
		<p>6 次世代 地熱発電</p>	<p>○現在は利用困難な新しい地熱資源を利用 ➢ 地熱発電の導入可能性を数倍以上拡大</p>
	<p>7 CO₂固定化・ 有効利用</p>	<p>○排ガス等からCO₂を分離回収し、化学品や炭化水素燃料の原料へ転換・利用 ➢ 分離回収エネルギー半減、CO₂削減量や効率の格段の向上</p>	

国境を越えたアプローチ

- ◆ 温暖化問題はグローバル。日本は技術を通じて国境を越えた削減に貢献すべき



パリ協定長期成長戦略懇談会報告書提言のポイント(1)

- 今世紀後半のできるだけ早期の「脱炭素社会」を目指し、2050年までに80%のGHG削減に大胆に取り組む
- 1.5℃の努力目標を含む、パリ協定の長期目標の実現に向けた日本の貢献を示す
- 温暖化問題解決には世界全体での取組と非連続なイノベーションが不可欠。
- ビジネス主導の環境・成長の好循環のための長期戦略を策定

各分野のビジョンと政策の方向性

- 2050年に向けて、省エネ、再エネ、水素、原子力、CCUS等あらゆる選択肢によりエネルギー転換・脱炭素化
 - 再エネの主力電源化（劇的な低コスト化、投資の促進）
 - 水素社会の実現（CO₂フリー水素の製造コストを10分の1にすること等による生産拡大）
 - CCUの最初の商用化技術を数年内に確立、CCS・CCUを2030年までに実用化し世界への輸出を検討 等
- モノづくりの脱炭素化
- 「Well-to-Wheel Zero Emission」に貢献 等

3つの主な政策

【イノベーション】

- 野心的なビジョンの実現に向けた非連続なイノベーションが必要
- 技術だけでなく市場、インフラ、制度・規制のイノベーション
- 鍵となる分野のコスト等の具体的目標を掲げた総合戦略策定と科学的なレビュー
- 世界から指導的人材を集めた国際会議を開催(RD20)

【グリーンファイナンス】

- イノベーションに取り組む企業の「見える化」等を通じESG資金が集まるメカニズムを構築

【ビジネス主導の国際展開・国際協力】

- 環境性能の高い技術・製品等の国際展開
- バリューチェーン全体を通じた削減貢献
- パリ協定の長期目標に整合的なインフラ輸出 等

まとめ

- 温暖化は進行しており、対策が必要。同時に温暖化対策にはコストがかかり、各国の対応に応じてコスト負担も異なるという現実を直視すべき。
- 日本のエネルギーコストは主要貿易相手国であるアジア太平洋地域に比して非常に高く、更なるコスト増は日本産業の国際競争力に悪影響。
- 温暖化の科学、損害の度合い、技術進歩、化石燃料価格、地政学、地経学的リスク等、将来に向けて多くの不確実性 → 費用対効果の高いエネルギーミックスを追求すべき。
- 無資源国日本で原子力と再エネを二者択一で捉えるべきではない。原子力の排除は温暖化対策コストを引き上げるだけ。再エネ主力電源化は「経済的に自立した（脱・補助金）非化石電源（脱・化石燃料火力によるバックアップ）」が前提。
- 経済と温暖化防止を両立するためには技術による対応が不可欠。野心的な削減を可能にするのは低コスト、高パフォーマンスの技術であり、重要なのは削減目標よりも技術目標。日本が貢献できる分野。
- 民間セクターの技術開発を促進するためには良好な経済環境、企業収益が最も重要。そのためにはエネルギー（電力）コストの安定が必要。